

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

YONG HWAN KWON, ET AL.

Application No.:

Filed:

For: **Spot Size Converter and Method for
Manufacturing the Same, and Spot
Size Converter-Integrated
Photodetector**

Art Group:

Examiner:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

REQUEST FOR PRIORITY

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>DATE OF FILING</u>
Korea	10-2002-0080112	16 December 2002

☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Dated: 12/4/03

12400 Wilshire Boulevard, 7th Floor
Los Angeles, CA 90025
Telephone: (310) 207-3800


Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원번호 : 10-2002-0080112
Application Number

출원년월일 : 2002년 12월 16일
Date of Application DEC 16, 2002

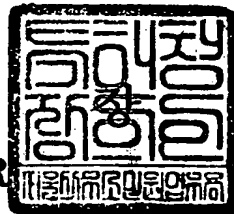
출원인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Institute



2003 년 06 월 02 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2002. 12. 16
【발명의 명칭】	광모드 크기 변환기, 그 제조방법 및 광모드 크기 변환기 집적 광검출소자
【발명의 영문명칭】	Spot size converter, Method for manufacturing the same and spot size converter intergrated photodetector
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【성명】	신영무
【대리인코드】	9-1998-000265-6
【포괄위임등록번호】	2001-032061-5
【발명자】	
【성명의 국문표기】	권용환
【성명의 영문표기】	KWON, Yong Hwan
【주민등록번호】	700325-1691422
【우편번호】	305-390
【주소】	대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 209-608
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	최중선
【성명의 영문표기】	CH0E, Joong Seon
【주민등록번호】	711013-1019713
【우편번호】	143-867
【주소】	서울특별시 광진구 자양1동 632-2, 22/1
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김기수
【성명의 영문표기】	KIM, Ki Soo
【주민등록번호】	720202-1480716

【우편번호】	560-849
【주소】	전라북도 전주시 완산구 풍남동3가 23-14
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 신영무 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	13 면 13,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	9 항 397,000 원
【합계】	439,000 원
【감면사유】	정부출연연구기관
【감면후 수수료】	219,500 원
【기술이전】	
【기술양도】	희망
【실시권 허여】	희망
【기술지도】	희망
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 광모드 크기 변환기(spot size converter : SSC)를 집적한 광소자와 그 제작 방법에 관한 것으로, SSC 영역의 테이퍼 도파로를 형성할 때 선택적 습식 식각 방법을 사용해서 폭과 두께를 정확히 조절하며, 특히 테이퍼 도파로의 시작부분을 메사 구조 또는 역메사 구조로 형성한다. 이를 통하여 공정 변수를 재현성 있게 조절할 수 있도록 하고, 광정렬을 위한 비용을 절감하고 광결합 효율 및 양자효율을 크게 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

【대표도】

도 3

【색인어】

SSC, 광검출 소자, 메사, 역메사

【명세서】**【발명의 명칭】**

광모드 크기 변환기, 그 제조방법 및 광모드 크기 변환기 집적 광검출소자{Spot size converter, Method for manufacturing the same and spot size converter intergrated photodetector}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 종래기술에 의한 SSC 집적 광검출소자의 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 종래기술에 의한 다른 SSC 집적 광검출소자의 구성을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 SSC 집적 광검출소자를 도시한 도면이다.

도 4a는 도 3의 SSC 집적 광검출소자의 단면도를 도시한 도면이고, 도 4b는 각 층의 굴절률을 나타낸 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 테이퍼 도파로의 시작단과 끝단에서 광모드 분포를 도시한 개념도이다.

도 6a 및 도 6b는 도 3의 SSC 집적 광검출소자의 도파로) 시작부분을 메사구조 및 역메사구조로 형성된 일예를 도시한 SEM사진들이다.

도 7a 및 도 7b는 도 3의 테이퍼 도파로의 시작부분이 각각 수직모양, 메사모양, 그리고 역메사모양으로 형성되었을 때, 빛전파방법으로 전산모사한 시작부분의 폭변화에 따른 유효흡수계수 및 양자효율값을 도시한 그래프들이다.

도 8 내지 도 14는 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 SSC 집적 광검출소자를 제조하는 공정과정을 도시한 도면들이다.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<9> 본 발명은 광모드 크기 변환기(spot size converter : SSC), 그 제작 방법 및 광모드 크기 변환기 집적형 광소자에 관한 것이다. 본 발명이 제시한 구조에 의하면 광섬유에서 나오는 입력광을 광소자에 쉽게 결합시킬 수 있게 되어, 광정렬을 위한 비용을 절감하고 광결합 효율을 향상시킬 수 있다.

<10> 이하, SSC를 집적가능한 광소자 중에서, 특히 광검출소자의 경우를 예로 들어 설명한다.

<11> 광통신을 위해 사용되는 반도체 광검출소자의 구조는 광입사 구도에 따라서 일반적으로 면입사구조(또는 수직입사 구조)와 도파로구조(또는 가장자리입사 구조)로 나눌 수 있는데, 면입사 구조는 광결합 및 제작공정에 있어서, 도파로구조는 동작 속도와 양자 효율의 곱의 값에 있어서 각각 비교적 우월한 것으로 알려져 있다. 따라서, 10Gbps 급 아래의 동작속도 영역에서는 광결합이 용이한 면입사구조가 대부분 사용되고 있으며, 10Gbps 급의 면입사구조를 가진 광검출기 칩은 광입사면의 직경이 20~30 μm 정도이고, 따라서 모드크기가 10 μm 정도인 단일모드 광섬유와의 광결합율이 높고 용이하다.

<12> 반면에 면입사구조는 동작속도와 양자효율의 곱이 ~20GHz 정도로 보고되고 있으며 따라서 40Gbps급 광수신기를 위한 칩의 구도로는 면입사형과 도파로형이 경합을 하고 있는 상황이다. 도파로구조는 40Gbps 동작시 전자, 정공의 천이 시간(transit time) 제한에 의한 흡수층 두께의 제한 및 이에 따른 흡수율의 감소를 빛을 가장자리로 입사하게 하여 유효흡수길이를 늘려서 흡수율을 높이고, 또한 양자효율을 높게 가져간다. 따라서 이때 양자효율은 대부분 광섬유와 광검출소자와의 결합 효율에 의해서 제한되게 되며, 면입사구조에 비해서 장점이 있으려면 50% 이상이 되어야 함을 알 수가 있다. 하지만 일반적인 도파로형 광검출 소자는 입력광을 결합시킬 때 큰 결합손실을 갖는데, 이는 광섬유의 모드와 광검출소자의 모드가 심한 크기 불일치를 보이기 때문이며, 특히 광검출소자의 수직방향 모드 크기는 구조에 따라 차이가 있긴 하지만 ~ $1\mu\text{m}$ 정도이며 따라서 단일모드 광섬유와의 결합 효율은 10% 미만에 머물러 있다.

<13> 이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 광검출 소자와 결합하여 빛이 입사하는 쪽의 모드 크기를 증가시키고 모드 모양을 원형으로 변화시켜 단일모드 광섬유 또는 렌즈 달린 광섬유(lensed fiber)와 쉽게 광결합을 하는 SSC 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. SSC를 이용함으로써 레이저와 광섬유 사이에 부가적인 광학계 없이 직접적인 광결합이 가능하고, 적은 광결합 손실 그리고 큰 광정렬 허용오차 등을 얻을 수 있다.

<14> SSC 집적 광검출소자 구조 설계에서 고려되어야 할 점은 다음과 같다. 먼저 광섬유와의 높은 광결합효율을 위해서는 광입사면쪽 도파로의 모드크기를 광섬유 모드 크기와 원형으로 잘 일치시켜야 한다. 다음 영역은 광의 방사손실 (radiation loss) 없이 비교적 큰 광모드 크기를 점차적으로 (adiabatically) 변화 시켜 주는 역할을 하여야 한다. 이

렇게 크기가 변환된 모드는 굴절을 매칭된 도파로를 통해서 또는 모드의 가장자리 부분 결합(evanescent coupling)으로 흡수층으로 흡수된다.

- <15> 현재까지 제안되었던 다양한 SSC 구조들 중에서 대표적인 몇 가지 구조를 살펴보겠다.
- 이렇게 제시된 방법은 여러가지가 있으나, 그 중에서도 SSC 영역에 두 개의 도파로를 형성하고 이 때 하나의 도파로는 광섬유와의 광결합을 위하여 큰 모드 크기를 갖도록 제작하고 또 하나는 흡수층과의 광결합을 위해서 점차적으로 크기를 변화 시키는 구조는, 각 기능을 하는 도파로를 각각 최적화 할 수 있을 뿐 아니라 전자선 묘화 (e-beam lithography) 방법이 필요 없이 사진전사 (photo-lithography) 방법으로 할 수 있는 등 공정이 용이해서 대량 생산에 적합한 장점을 지니고 있다.
- <16> 이하, 도 1을 참조하여 종래기술에 의한 SSC를 집적한 광검출소자를 상세히 설명한다.
- <17> 도 1을 참조하면, 도 1의 SSC를 집적한 광검출소자는 InP 기판(11)상에 SSC영역에 2개의 도파로(13,14)를 형성하고, 1개의 도파로(13)는 광섬유와의 광결합을 위해 사용하고, 나머지 1개의 도파로(14)는 모드 크기를 점차적으로 변화시키기 위해서 도파로의 두께가 점차적으로 변하게(tapered : 테이퍼) 만든 구조를 가지고 있다.
- <18> 즉, 상측의 수직방향의 테이퍼 도파로(13)는 아래쪽 도파로에 지나가는 빛을 점차적으로 끌어 올리는 역할을 하기 위해서 테이퍼 시작단에서 두께가 1 μm , 테이퍼 길이가 500~1000 μm 이어야 한다. 이러한 수직적 테이퍼 도파로(13)를 형성하기 위해서 기존의 사진전사 방법을 개선한 새로운 사진전사 방법을 제시하였다. 이는 종래의 사진전사 공정 장비의 고정된 마스크를 이동할 수 있도록 만들어서 마스크에 있는 열린부분의 가장

자리 부근에서 노출광의 양을 줄여준다. 이러한 방법으로 먼저 포토레지스터에 수직방향의 테이퍼 도파로를 형성하고 이온빔 식각 방법을 이용해서 시료면에 수직적 테이퍼 도파로를 그대로 옮긴다.

<19> 다음으로, 도 2를 참조하여 다른 종래 기술에 의한 SSC를 집적한 광검출소자를 상세히 설명한다. SSC 영역에 3개의 도파로를 형성하고, 하나는 광섬유와의 광결합을 위해 사용하고, 나머지 2개는 모드 크기를 점차적으로 변화시키기 위해서 차례로 도파로의 폭을 점차적으로 변하게 만든 구조로서, 이 구조의 개념도를 도 2에 나타내었다. 이때, 제 1 테이퍼 도파로(23)는 $500\ \mu\text{m}$ 길이의 InGaAsP ($\lambda_g=1.05\ \mu\text{m}$) 단일모드 도파로로서 하부 도파로에 지나가는 빛을 점차적으로 끌어 올리는 역할을 하고, 제 2 테이퍼 도파로(24)는 $250\ \mu\text{m}$ 길이의 InGaAsP ($\lambda_g=1.4\ \mu\text{m}$) 다중모드 도파로로서 제 1 테이퍼 도파로(23)와 흡수층(25)사이의 굴절을 매칭층의 역할을 해서 제 1 테이퍼 도파로에 있는 빛이 흡수층에 잘 흡수되도록 한다.

<20> 이 경우, 제 1 및 제 2 테이퍼 도파로(23,24)의 시작부분은 각각 $1\ \mu\text{m}$ 과 $0.5\ \mu\text{m}$ 의 팁을 가져야 하고, 이의 제조방법은 건식 식각 방법 중 반응성 이온 식각 방법 (RIE : reactive ion etching) 으로 형성한다.

<21> 이와 같은 종래 기술의 구조 및 제작공정이 소자 성능에 미칠 수 있는 문제점을 정리해보면 다음과 같다.

- <22> 먼저, 도 1에서와 같이 수직 방향의 두께를 변화시키는 테이퍼 구조는 선택적 MOVPE 방법이나 기존의 사진전사방법을 개선한 새로운 방법과 같은 복잡한 공정 또는 신기술이 요구된다.
- <23> 한편, 도 2에서와 같은 수평 방향의 폭을 변화시키는 테이퍼 구조는 한번의 에피성장으로 가능하고 기존의 사진전사 방법을 이용할 수 있는 장점을 지니고 있으나 다음과 같은 문제점이 있다.
- <24> 첫번째, 사진전사 및 RIE 방법으로 만들어지는 테이퍼 도파로의 시작부분은 최대 1 μm 의 폭을 가지도록 하는 것이 바람직하다. 도 2에 도시한 바와 같이, 빔 전파방법(BPM : beam propagation method)으로 계산해 볼 때, 시작부분의 폭이 1.2 및 1.4 μm 의 폭으로 늘어날 경우 폭이 4 μm , 길이 30 μm 의 흡수층을 가진 소자에 대해서 광흡수율이 각각 70 %, 30 %로 떨어진다. 즉, 테이퍼 도파로의 시작부분은 매우 중요한 요소가 된다. 그러나, 이 같은 시작부분의 수치는 통상의 당업자들은 사진전사 방법을 이용할 때 구현 및 재생에 있어서 극한의 수치임을 알 수가 있다. 또한, 테이퍼 도파로 형성 공정이 평탄한 면 위에서가 아닌 광흡수를 위한 도파로가 형성된 다음의 굴곡이 있는 면 위에서 형성되므로 이와 같은 치수를 만족시키기는 더욱 어렵다.
- <25> 두번째, 테이퍼 도파로의 두께를 RIE 방법으로만 구현하는 것이다. 도 2에서의 테이퍼 도파로의 두께는 0.5~0.7 μm 이며 이때 RIE 시 두께는 정밀한 조절이 요구된다. 도 2의 경우 두께 공차에 대한 광흡수율은 각각, $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 의 경우 ~90 %, $\pm 1 \mu\text{m}$ 의 경우 ~80 %로 떨어지는 것으로 나타난다. 따라서 SSC 영역의 특성을 최적화 하면서, 위와 같은 테이퍼 도파로 시작부분의 폭과 두께와 같은 중요 공정 변수를 잘 조절할 수 있는 구조 및

공정 방법을 개발한다면 종래 기술의 문제점을 극복하여 경제적이며 우수한 특성을 보이는 SSC 집적 광검출소자를 제작할 수 있을 것이다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <26> 상술한 문제점을 해결하기 위해서 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 SSC영역의 테이퍼 도파로 시작부분의 폭과 두께와 같은 중요공정 변수를 조절 및 재현할 수 있도록 하는 것이다.
- <27> 본 발명의 다른 목적은 SSC 영역의 테이퍼 도파로를 형성할 때 선택적 습식 식각 방법을 사용해서 폭과 두께를 정확히 조절하는 방법을 제공하는 것이다.
- <28> 또한, 본 발명의 또다른 목적은 SSC 본래의 목적인 모드를 점차적으로 변화시키는 기능을 최적화 하여 좋은 특성을 보이면서도 쉽게 제작할 수 있는 구조와 방법을 제시하는 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

- <29> 상술한 문제점을 해결하기 위해서, 본 발명의 일측면은 반도체 기판과, 반도체 기판 상에 리지 형태로 적층되며, 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로와, 제 1 도파로 상에 광모드 크기 변환을 위하여 형성되며, 시작부분에서 시작부분에서 도파로를 따라 진행되는 방향으로 점점 폭이 두꺼워지는 테이퍼 형상을 갖는 제 2 도파로를 포함하여 구성되며, 제 2 도파로의 시작부분은 메사 또는 역메사 구조로 형성된 광모드 크기 변환기를 제공한다.
- <30> 메사 또는 역메사 구조는 1 μ m(두께의 중간 부분 기준)이하의 폭을 갖는다.

- <31> 또한, 제 1 도파로는 다중층으로 이루어질 수 있으며, 다중층은 600nm 두께의 InP 3개층과 50nm 두께의 InGaAsP($\lambda_g=1.24 \mu\text{m}$) 3개층이 교대로 반복된 된 구조이고, 제 2 도파로는 500~600nm 두께의 InGaAsP($\lambda_g=1.24 \mu\text{m}$)층의 구조일 수 있다.
- <32> 본 발명의 다른 측면은 반도체 기판과 반도체 기판 상에 리지 형태로 적층되며, 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로와 제 1 도파로 상에 광모드 크기 변환을 위하여 형성되며 시작부분에서 시작부분에서 도파로를 따라 진행하는 방향으로 폭이 점점 두꺼워지는 테이퍼 형상을 갖는 제 2 도파로를 포함하는 광모드 크기 변환기 제조 방법에 있어서, 제 2 도파로 상에, 테이퍼 형상이 잔류하도록 식각 마스크를 형성하는 단계와, 식각마스크를 이용하여 제 2 도파로를 소정 깊이로 건식식각하는 단계와, 건식식각된 제 2 도파로를 언더컷 습식 식각공정을 이용하여, 제 2 도파로의 시작부분을 메사 구조 또는 역메사 구조로 형성하는 단계를 포함하는 광모드 크기 변환기 제조 방법을 제공한다.
- <33> 식각마스크의 폭은 $1.5\sim 2 \mu\text{m}$ 이며, 식각마스크의 형성은 사진전사로 수행될 수 있다.
- <34> 제 2 도파로는 500~600nm 두께의 InGaAsP($\lambda_g=1.24 \mu\text{m}$)층이고, 건식 식각은 상기 제 2 도파로의 200~400 nm 두께를 건식 식각하며, 언더컷 습식 식각공정은 인산계 또는 황산계 식각용액을 이용해서 수행하는 것이 바람직하다.
- <35> 메사 또는 역메사 구조의 측면 각도는 30 내지 60°인 범위로 형성가능하다.
- <36> 본 발명의 또다른 측면은 반도체 기판과, 반도체 기판 상에 광검출 영역과 광모드 크기 변환기 영역으로 분리되어 광섬유와의 광결합을 위하여 적층되며, 상기 광모드 크기 변환기 영역에 리지 형태로 패터닝되어 있는 제 1 도파로와, 광모드 크기 변환기의

제 1 도파로 상에는 시작부분에서 시작부분에서 도파로를 따라 진행하는 방향으로 점점 폭이 두꺼워지는 테이퍼 형상을 가지며 상기 광검출 영역 상에는 광모드 크기 변환기의 제 1 도파로에 연장되어 형성되어, 광모드 크기를 변환하는 제 2 도파로와, 광검출 영역의 제 2 도파로 상에 연속적으로 형성된 흡수층, 클래딩층 및 전극층을 포함하여 구성되며, 광모드 크기 변환기의 제 2 도파로의 시작부분은 메사 또는 역메사 구조로 형성된 광모드 크기 변환기 집적형 광검출소자를 제공한다.

<37> 이하, 도 3을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 상술하는 실시예들로 인해 한정되어지는 것으로 해석되어져서는 안된다. 본 발명의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해서 제공되어지는 것이다.

<38> 한편, 본 발명의 실시예에서는 리지 형태의 SSC 집적형 광검출소자의 경우를 설명하고 있으나, SSC 도파로에 결합가능한 광소자는 반드시 이에 한정되지 않고, 도파로 구조를 가진 다양한 광소자와 결합할 수 있음은 당연하다. 도파로 구조를 가진 광소자의 예로는 반도체 광증폭기(semiconductor optical amplifier), 광변조기(optical modulator)등 다양하다.

<39> 도 3의 SSC 집적형 광검출소자(SSC integrated photodiode)는 흡수영역과 SSC 영역의 2개 부분으로 이루어져 있으며, SSC 영역은 각각 광섬유와의 광결합을 위한 도파로(이하,

"제 1 도파로"(32)와 테이퍼 도파로로(이하, "제 2 도파로")(33)를 가지고 있다. 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로(32)는 광섬유의 모드크기에 맞춰서 원형모양의 모드를 갖도록 제작하여 광섬유와의 광결합 효율을 최적화 한다. 흡수영역에서는 SSC 영역의 제 2 도파로(33)층이 연장된 구조 상에 도핑하지 않은 InGaAs 흡수층(34)과 p형 InP 클래딩층(35)과 p+ InGaAs접촉층(36)을 도 3에 도시된 바와 같이 성장하여 전체 도파로 구조를 완성한다.

<40> 제 2 도파로(33) 영역의 시작부분은 $1\ \mu\text{m}$ 이하의 값을 갖도록 하고 폭을 점차적으로 늘려서 흡수층 앞단에서는 $\sim 3\ \mu\text{m}$ 정도의 값을 갖도록 하여 광섬유와의 광결합을 위한 도파로에 있던 모드를 점차적으로 끌어올려 테이퍼 도파로에 대부분 가두도록 한다. 이렇게 가둬진 빛은 evanescent coupling을 통해서 흡수층(34)으로 흡수되고, 이때 테이퍼 도파로와 흡수층(34)은 근접해 있으므로 효율적인 흡수가 이루어 진다.

<41> 본 발명의 동작 원리를 자세히 이해하기 위하여, 제작된 소자의 에피층 구조를 보면, 도 4a는 도 3의 SSC 집적 광검출소자의 제작을 위한 에피층 구조 단면도를 도시하고, 도 4b는 각 층의 굴절률을 나타내고 있다.

<42> 도 4a의 단면도는 도 3의 I-I'선을 따른 절단면 중에서 흡수영역에 대한 부분만을 표시하였다. 도 4a에 도시하고 있는 바와 같이, 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로(32)는 InP기판(31)위에 성장되었으며 리지형태의 다중층으로 구성되어 있다. 이 다중층(32a,32b)은 600nm 정도의 InP(32a) 3개의 층과 50nm 정도의 InGaAsP ($\lambda_g=1.24\ \mu\text{m}$)(32b) 3개의 층이 교대로 반복되어 있다. 이 위에 형성되는 제 3 도파로(33)는 $500\sim 600\text{nm}$ 두께의 InGaAsP($\lambda_g=1.24\ \mu\text{m}$) 층으로 이루어져 있으며, 이 층(33)은 모드의 크기를 변하게 하는 역할을 하는 동시에 n접촉층으로 사용되므로, n 형으로 도핑한다.

<43> 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로(32)와 제 2 도파로(33)에 사용되는 InGaAsP 물질 계는 같은 조성을 선택하였는데, 이는 중요한 성장 변수 하나를 줄여줄 수 있어서 설계한 구조대로 에피를 성장하는데 도움이 될 뿐 아니라 분석결과를 통해 에피성장을 피드백 할 때에도 큰 도움이 될 수 있도록 하기 위한 것으로 서로 다른 물질로 성장시킬 수 있음은 당업자에게 자명하다.

<44> 한편, 도 4b를 참조하여, 상술한 구조의 굴절률 분포를 살펴보면, 하부 쪽에 유효 굴절률이 작은 광결합을 위한 제 1 도파로(32)가 존재하고, 그 위에 굴절률이 큰 제 2 도파로(33)가 존재한다. 도 5a 및 도 5b에는 제 1 도파로(32)의 시작단과 제 2 도파로(33)의 끝단에서 도파로 구조의 단면도와 광모드 분포가 나타나 있다. 도 5a는 도 3의 SSC 집적 광검출소자 구조를 II-II'로 절단한 단면도이고, 5b는 도 3의 SSC 집적 광검출소자 구조를 III-III'로 절단한 단면도이다.

<45> 제 2 도파로(33)가 끝나는 영역에서는 두 도파로(32,33)가 동시에 존재하는데, 이 경우 상대적으로 굴절률이 큰 도파로(33)에 의해 광모드 분포가 결정된다. 이 구조에서 중요한 점은 도 5a의 모드가 도 5b의 모드 모양으로 광의 방사손실 없이 점차적으로 (adiabatically) 바뀌어야 한다는 것이고, 이를 위해서는 테이퍼 도파로(33)의 시작부분의 폭은 1 μm 이내의 값을 유지하는 것이 바람직하다.

<46> 이를 위해서, 제 2 도파로(33)의 시작부분을 메사구조 또는 역메사 구조로 형성한다. 즉, 제 2 도파로(33)를 형성하기 위해서 식각 공정을 수행함에 있어, 일정 깊이로 건식 식각을 하고, 다음으로 선택적 습식 식각을 통해서 두께를 의도한 대로 정확히 조절하는

동시에 언더컷(ndercut)식각을 통해서 시작부분의 폭을 $1\ \mu\text{m}$ 이내로 메사 또는 역메사 구조로 제작한다.

<47> 이 구조의 장점은 $1\ \mu\text{m}$ 이하의 미세한 조절이 필요한 도파로 패턴을 질화규소막에 구현된 $1.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 폭의 패턴과 undercut을 이용하여 쉽게 구현할 수 있다는 것이다. 즉, $1.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 폭의 패턴은 사진전사로도 충분히 구현할 수 있어, 제작 공정을 단순화 할 수 있다. 예를 들어 제 2 도파로(33)로 500nm 두께의 InGaAsP 를 사용하고, $200\sim 400\ \text{nm}$ 건식 식각 후 인산계 식각용액을 이용해서 언더컷 식각을 수행한 후의 단면 주사전자현미경(SEM : scanning electron microscopy) 사진을 도 6a 및 도 6b에 나타내었다.

<48> 도 6a 및 6b는 각각 도파로 방향을 $[11-0]$ 및 $[110]$ 으로 형성한 도파로의 단면 모양이며, 본 식각용액은 확산제한영역이 아니고, 반응제한영역에서 동작하는 용액이므로 각각 (111)면이 드러나는 경향을 가지고 형성되었다. 도 6a 및 도 6b에 도시한 바와 같이, 언더컷이 500nm 정도이므로 $1.5\ \mu\text{m}$ 폭의 질화규소막 패턴을 이용하면 도 6a와 같은 경우 도파로(33)의 시작부분에서 메사의 위부분과 아랫부분의 폭이 각각 $\sim 0.5, 1\ \mu\text{m}$ 를 얻어 낼 수가 있다. 한편, 메사 또는 역메사 구조에서 잔류한 도파로의 측면 각도는 식각용액의 조절 등을 통해서 변할 수 있으며, 30 내지 60° 일 수 있다.

<49> 제 2 도파로(33)의 시작부분이 메사 구조 또는 역메사 구조인 경우 각각에 대하여 전산모사를 실시하였다. 도 7a 및 도 7b는 제 2 도파로(33)의 시작부분 단면이 각각 수직모양, 메사모양, 그리고 역메사모양으로 형성되었을 때, 빔 전파방법으로 시작부분의 폭변화에 따른 유효흡수계수 및 양자효율값을 전산모사한 결과를 도시하는 그래프들이다. 이 때, 메사형과 역메사형의 폭은 제 2 도파로(33)의 가운데 부분의 폭을 변수로 설정하였고, 제 2 도파로(33) 영역을 2개의 영역으로 나누어 폭이 $1.0\ \mu\text{m}$ 에서 $2.0\ \mu\text{m}$ 로 늘

어나는 영역의 길이를 $400\ \mu\text{m}$ 로, $2.0\ \mu\text{m}$ 에서 $3.0\ \mu\text{m}$ 로 늘어나는 영역의 길이를 $100\ \mu\text{m}$ 로 하여서 이 때의 폭을 기준으로 하고, 시작부분의 폭변화 만큼 전체적으로 변화를 주었다. 양자효율값은 폭이 $4\ \mu\text{m}$, 길이 $30\ \mu\text{m}$ 의 흡수층을 가진 소자에 대해 계산하였고, 광섬유에서 나오는 빛이 도파로(32)에 100% 결합되는 것을 가정하였으며, 실제로 결합손실을 고려하면 본 계산결과 보다는 작은 값을 보일 것이다.

<50> 도 7a 도시된 바와 같이, 메사구조의 시작부분을 갖는 도파로(33)는 종래의 수직구조의 기술에 비해서 빛전파방법으로 계산하여 흡수율의 크기가 비슷하면서, 폭변화에 대한 양자효율 변화의 기울기도 완만하여 공정허용 오차 범위가 크게 나타났다. 즉, 메사구조는 $1.0\ \mu\text{m}$ 이하의 폭을 갖도록 형성할 수 있음에 장점을 가지고 있는 것으로 수직구조가 $1.0\ \mu\text{m}$ 이상의 폭을 갖는 경우와 비교하면 메사 구조의 흡수효율이 탁월함을 알 수 있다. 마찬가지로, 역메사구조를 갖는 경우도 수직구조에 비해 흡수율의 크기가 크게 차이 나지 않고, 특히 수직구조가 $1.0\ \mu\text{m}$ 일 때와 역메사구조가 $0.8\ \mu\text{m}$ 인 경우를 비교하여 볼 때, 역메사구조의 흡수효율이 더 우수함을 알 수 있다. 이는 수직구조가 $1.0\ \mu\text{m}$ 이하로 제작이 어려운 반면 역메사구조는 $1.0\ \mu\text{m}$ 이하로 충분히 제작가능한 것을 참고할 때 더 잘 이해될 수 있다. 또한, 도 7b에 도시된 바에 의하면, 양자효율의 경우에도 메사구조와 역메사구조가 수직구조에 비하여 더 유용하다.

<51> 특히, 메사구조의 경우에는 목표한 폭에 비해서 도파로를 따라 전체적으로 언더컷 식각이 과도하게 일어나더라도 양자효율의 차이가 크지 않다. 이는 공정 오차의 마진을 더 크게 확보할 수 있다는 것을 의미한다(도 7a 및 도 7b 참조).

- <52> 한편, 사진 전사후 질화규소막등으로 구현된 패턴의 폭의 크기를 확인한 후 원하는 폭을 구현하기 위한 언더컷 식각 시간을 결정할 수 있으므로, 더욱 정밀한 폭의 제어가 가능할 수 있다.
- <53> 이하, 도 3 및 도 8 내지 도 14를 참조하여 상술한 리지 형태의 SSC 집적 광검출소자 제작 공정을 상세히 설명한다.
- <54> 도 8를 참조하면, InP 기판(31) 위에 다중층(32a,32b)을 600nm 정도의 InP(32a) 3개의 층과 50nm 정도의 InGaAsP ($\lambda_g=1.24 \mu m$)(32b) 3개의 층이 교대로 반복하여 적층한다. 이 층들은 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로(32)를 형성함은 전술한 바와 같다. 제 1 도파로(32) 상에 500~600nm 두께의 InGaAsP($\lambda_g=1.24 \mu m$) 층으로 이루어져 있으며, 이 층(33)은 모드의 크기를 변하게 하는 역할을 하는 동시에 n접촉층으로 사용되므로, n형으로 도핑하는 것이 바람직하다.
- <55> 2개의 도파로(32,33)가 형성된 후, InGaAs 흡수층(34)과 p형 InP 클래딩층(35)과 p+ InGaAs접촉층(36)을 성장하는데, 이 때 제 2 도파로(33)와 InGaAs 흡수층(34)사이에 선택적 습식 식각을 위해서 ~10 nm 두께의 InP 식각 중지층(61)을 성장한다.
- <56> 다음으로, 도 9를 참조하면, 상기 구조상에 질화규소막(62)을 증착하고 도 3의 흡수영역의 정의를 위한 도파로 패턴을 형성한 후, 이 패턴을 이용하여 건식 및 습식 식각하여 폭 3~4 μm , 깊이 ~1 μm 의 리지모양으로 만든다. 선택적 습식 식각을 위한 대표적인 용액으로는 인산계나 황산계의 용액이 있다. 한편, 도 3의 SSC영역은 InGaAs 흡수층(34)과 p형 InP 클래딩층(35)과 p+ InGaAs접촉층(36)이 모두 식각된 상태이다(도 3 참조).

- <57> 다음으로, 도 10a 및 도 10b를 참조하면, 질화규소막(62)을 제거한 후 다시 질화규소막(63)을 증착하고, 도 3의 SSC 영역의 제 1 도파로(32)를 정의하고(도 10a참조), 도 3의 흡수영역은 n접촉층을 패터닝한다(도 10b참조). 일정 깊이로 건식 식각 후 선택적 습식 식각을 통해서 두께를 의도한 대로 정확히 조절하는 동시에 언더컷 식각을 통해서 시작 부분의 폭을 1 μm 이내로 쉽게 제작할 수 있다. 이 때 선택적 습식 식각을 위해서는 인산계나 황산계의 용액이 있다.
- <58> 이에 대해서 좀 더 상세히 살펴보면, 이 공정은 건식식각 후 선택적 습식 식각방법을 이용한 언더컷 식각을 통해 정확한 깊이와 1 μm 이하의 폭을 구현한다. 이 구조의 장점은 1 μm 이하의 미세한 조절이 필요한 도파로 패턴을 질화규소막에 구현된 1.5~2 μm 폭의 패턴과 언더컷을 이용하여 쉽게 구현할 수 있다는 것이다. 1.5~2 μm 폭의 패턴을 사진전사로 구현한 후, 먼저 건식식각으로 수직구조를 형성하고 이후에 상술한 바와 같은 선택적 습식식각을 실시함으로써 제작 공정을 단순화 할 수 있을 뿐 아니라 정확하고 재현성 있는 공정을 확보할 수 있다.
- <59> 다음으로, 도 11를 참조하면, 질화규소막(63)을 제거한 후 다시 질화규소막(64)을 증착하고 제 1 도파로(32)를 위한 패턴을 형성한 후, 이 패턴을 이용하여 다중층(32a, 32b)를 건식 식각 하여 폭 3~6 μm , 깊이 ~3 μm 의 리지모양으로 만든다. 이 때 식각 깊이는 제 1 도파로 (32)에 구속되는 모드 모양에는 크게 영향이 없으므로 허용공차가 크고, 다음에 진행될 전극 형성과정에서 전극이 끊어지지 않을 정도의 깊이를 확보하면 된다.
- <60> 다음으로, 도 12을 참고하면, 질화규소막(64)을 제거한 후 폴리이미드(65)를 사용하여 공기중에 드러난 흡수층 영역을 패시베이션(passivation)시키고 이때 폴리이미드는 후에

식각면에서 전극이 끊어지는 것을 방지하기 위해서 제 1 도파로(32)까지 감싸도록 한다.

<61> 다음으로, 도 13를 참조하면, 폴리이미드(65)의 수분흡수를 통한 성능저하를 막기 위해서 다시 한번 질화규소막(66)을 증착하고, p형 전극(67)과 n형 전극(68)을 차례로 증착한다.

<62> 마지막으로, 도 14를 참조하면, 접지-신호-접지(ground-signal-ground)의 코플래너(coplanar)형의 전극(69)을 증착하면, 리지 형태의 SSC 집적 광검출소자가 제조된다.

<63> 한편, 본 발명의 변형예로, 에피구조에서 제 2 도파로(33) 부분을 도핑한 부분과 하지 않은 부분으로 나누어서 n 접촉층과 모드 크기를 변하게 하는 영역을 나누는 구조도 가능하다. 이와 같은 구조에서는 n 도핑된 영역으로 빛이 진행하지 않음으로 자유 전자에 의한 산란 손실은 줄여줄 수 있으나 evanescent coupling 효율이 감소되는 효과가 있다. 이 방법도 본 발명의 기본 구조를 사용하고 있으므로 본 발명의 기술 사상에 종속된다 하겠다.

<64> 본 발명의 기술 사상은 상기 바람직한 실시예에 따라 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술 분야의 통상의 전문가라면 본 발명의 기술 사상의 범위 내에서 다양한 변형예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

【발명의 효과】

<65> 상술한 바와 같이, 본 발명은 종래 기술의 문제점을 선택적 습식 식각 방법과 이에 적합한 에피구조를 가지는 SSC 및 SSC 집적 광검출소자로 쉽게 구현할 수 있도록 하였다. 본 발명이 제시한 구조에 의하면 광섬유와 광검출소자와의 결합을 용이하게 하여, 광정렬을 위한 비용을 절감하고 광결합 효율 및 양자효율을 크게 향상시킬 수 있다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

반도체 기판;

상기 반도체 기판 상에 리지 형태로 적층되며, 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로; 및

상기 제 1 도파로 상에 광모드 크기 변환을 위하여 형성되며, 시작부분에서 도파로를 따라 진행하는 방향으로 폭이 점점 두꺼워지는 테이퍼 형상을 갖는 제 2 도파로를 포함하여 구성되며,

상기 제 2 도파로의 시작부분은 메사 또는 역메사 구조로 형성된 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 메사 또는 역메사 구조는 1 μm (두께의 중간 부분 기준) 이하의 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기.

【청구항 3】

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 도파로는 다중층으로 이루어지되,

상기 다중층은 600nm 두께의 InP 3개층과 50nm 두께의 InGaAsP($\lambda_g=1.24 \mu\text{m}$) 3개층이 교대로 반복된 구조이고,

상기 제 2 도파로는 500~600nm 두께의 InGaAsP($l_g=1.24 \mu\text{m}$)층의 구조인 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기.

【청구항 4】

반도체 기판; 상기 반도체 기판 상에 리지 형태로 적층되며, 광섬유와의 광결합을 위한 제 1 도파로; 및 상기 제 1 도파로 상에 광모드 크기 변환을 위하여 형성되며, 시작부분에서 도파로를 따라 진행하는 방향으로 폭이 점점 두꺼워지는 테이퍼 형상을 갖는 제 2 도파로를 포함하는 광모드 크기 변환기를 제조하는 방법에 있어서,

상기 제 2 도파로 상에, 상기 테이퍼 형상이 잔류하도록 식각마스크를 형성하는 단계;

상기 식각마스크를 이용하여 제 2 도파로를 소정 깊이로 건식식각하는 단계; 및

상기 건식식각된 제 2 도파로를 언더컷 습식 식각공정을 이용하여, 상기 제 2 도파로의 시작부분을 메사 구조 또는 역메사 구조로 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기 제조 방법.

【청구항 5】

제 4 항에 있어서,

상기 식각마스크의 폭은 $1.5\sim 2 \mu\text{m}$ 이며, 상기 식각마스크의 형성은 사진전사로 수행되는 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기 제조 방법.

【청구항 6】

제 4 항에 있어서,

상기 메사 또는 역메사 구조는 1 μm (두께의 중간 부분 기준) 이하의 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기 제조 방법.

【청구항 7】

제 4 항에 있어서,

상기 제 2 도파로는 500~600nm 두께의 InGaAsP($l_g=1.24 \mu\text{m}$)층이고,

상기 건식 식각은 상기 제 2 도파로의 200~400 nm 두께를 건식 식각하며,

상기 언더컷 습식 식각공정은 인산계 식각용액을 이용해서 수행하는 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기 제조 방법.

【청구항 8】

제 4 항에 있어서,

상기 메사 또는 역메사 구조의 측면 각도는 30 내지 60°인 것을 특징으로 하는 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기 제조 방법.

【청구항 9】

반도체 기판;

상기 반도체 기판 상에 광검출 영역과 광모드 크기 변환기 영역으로 분리되어 광섬유와의 광결합을 위하여 적층되며, 상기 광모드 크기 변환기 영역에 리지 형태로 패터닝되어 있는 제 1 도파로;

상기 광모드 크기 변환기의 제 1 도파로 상에는 시작부분에서 시작부분에서 도파로를 따라 진행하는 방향으로 폭이 점점 두꺼워지는 테이퍼 형상을 가지며, 상기 광검출

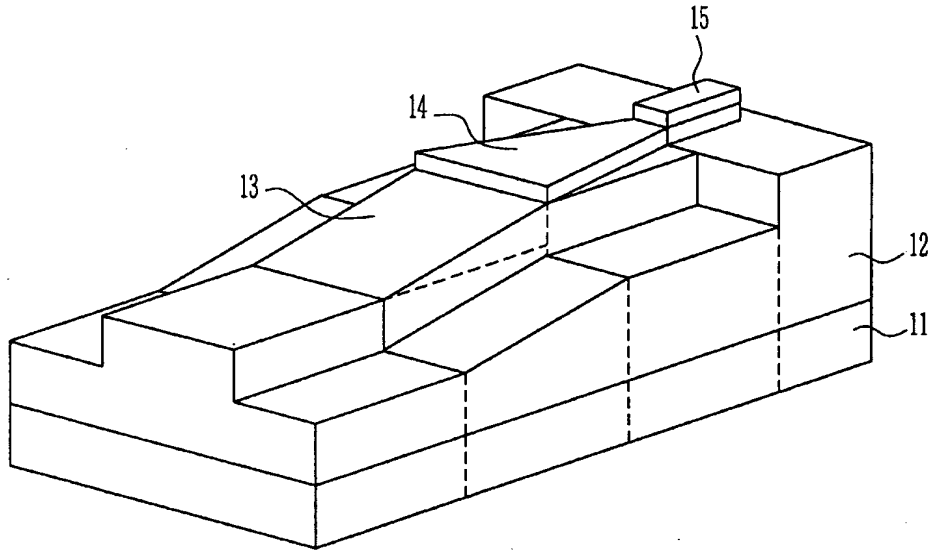
영역 상에는 상기 광모드 크기 변환기의 상기 제 1 도파로에 연장되어 형성되어, 광모드 크기를 변환하는 제 2 도파로; 및

상기 광검출 영역의 상기 제 2 도파로 상에 연속적으로 형성된 흡수층, 클래딩층 및 전극층을 포함하여 구성되며,

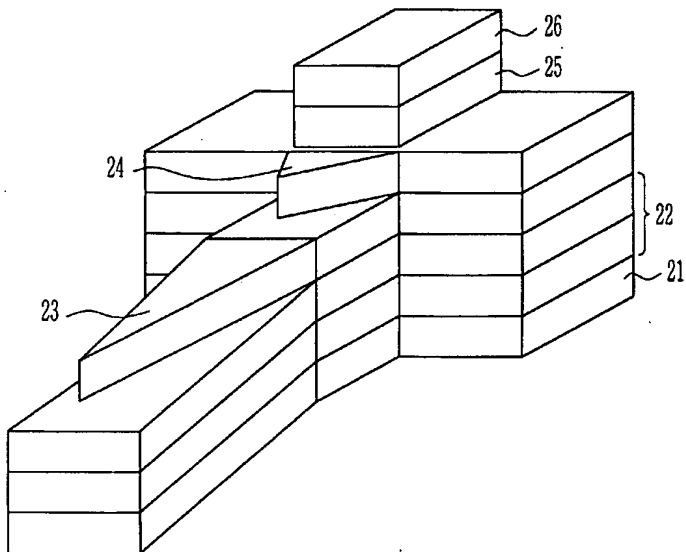
상기 광모드 크기 변환기의 상기 제 2 도파로의 시작부분은 메사 또는 역메사 구조로 형성된 것을 특징으로 하는 광모드 크기 변환기 집적형 광검출소자.

【도면】

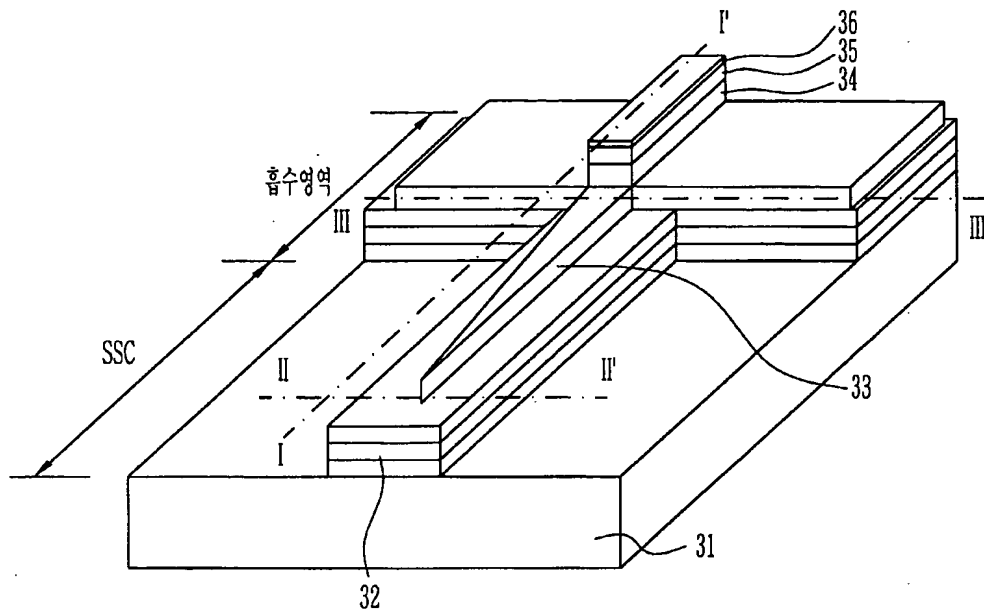
【도 1】



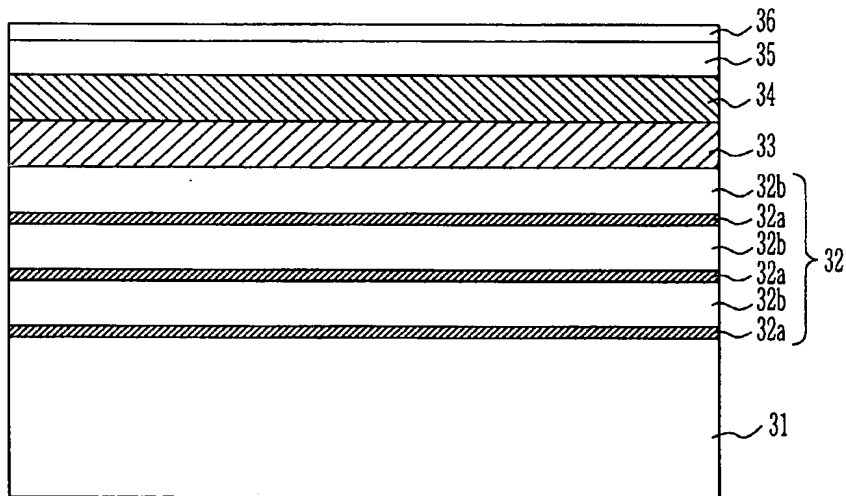
【도 2】



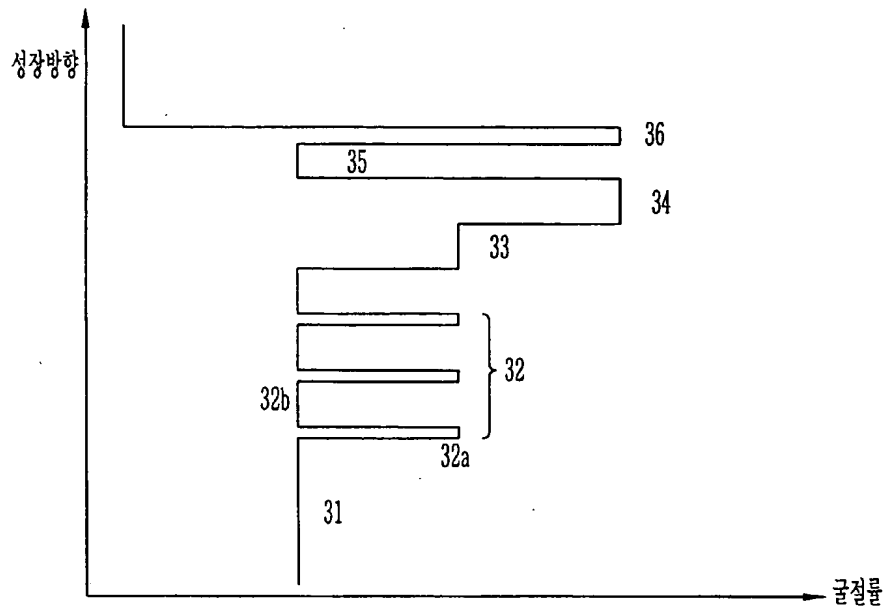
【도 3】



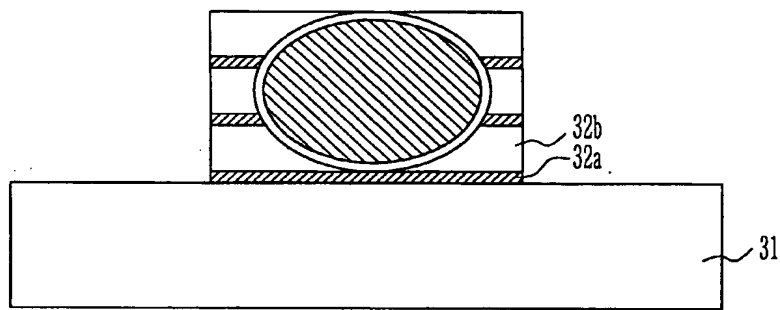
【도 4a】



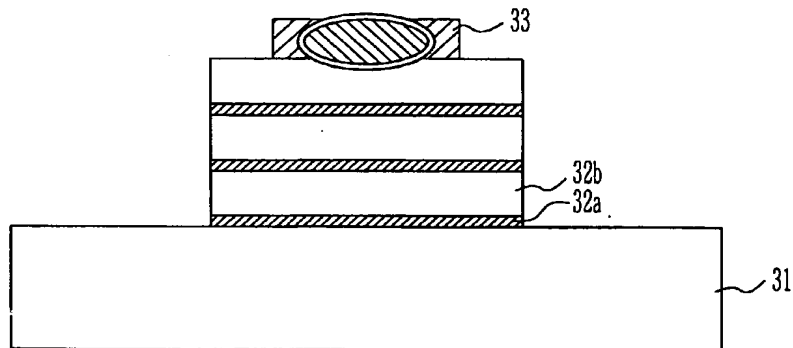
【도 4b】



【도 5a】



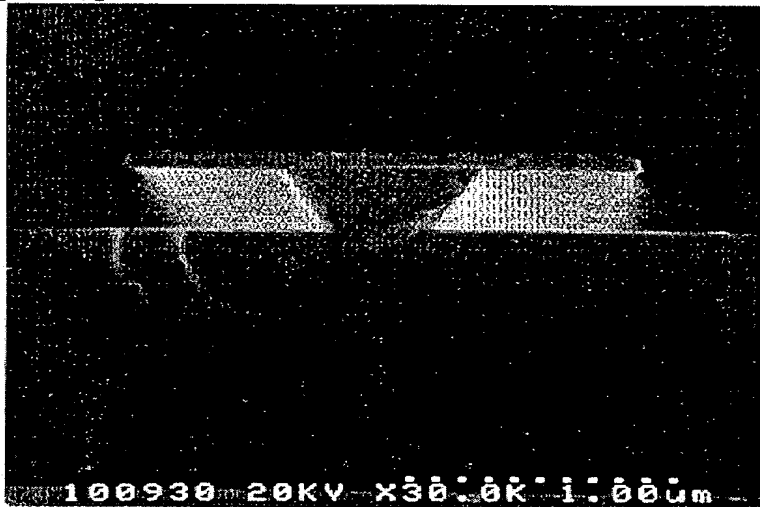
【도 5b】



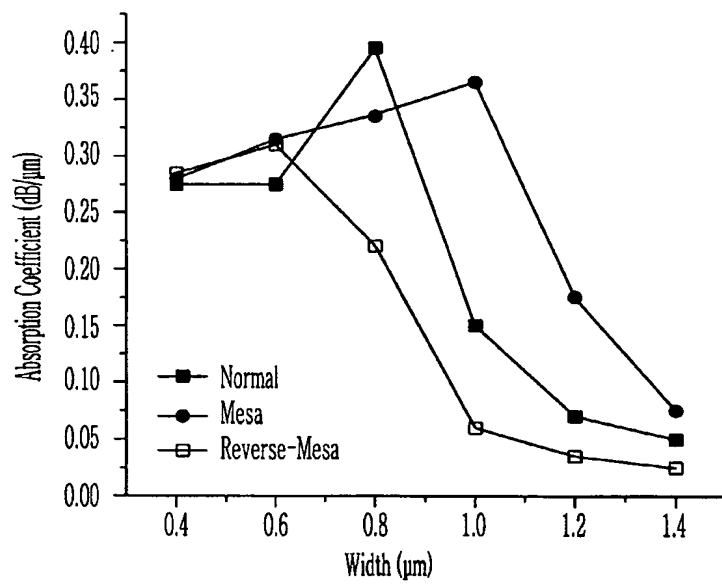
【도 6a】



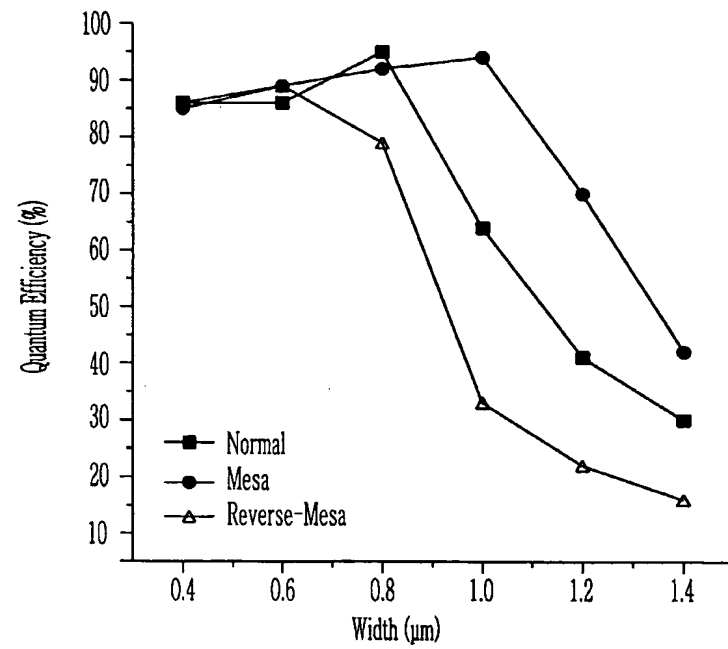
【도 6b】



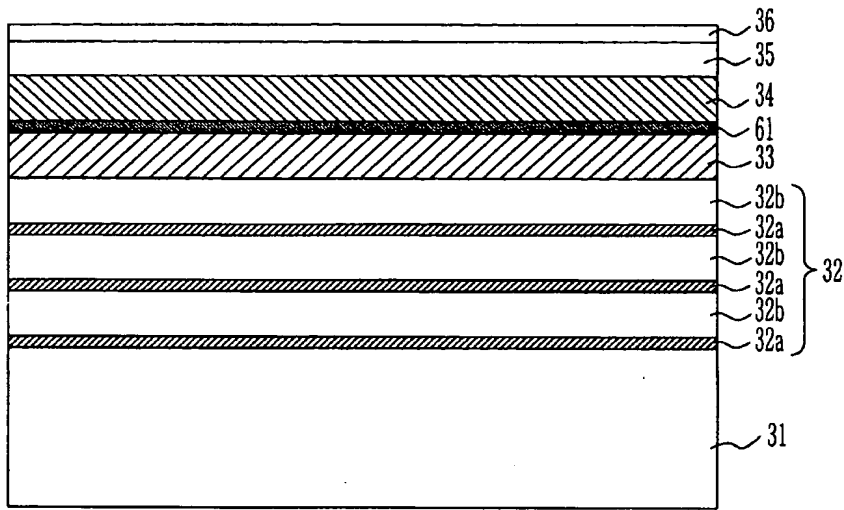
【도 7a】



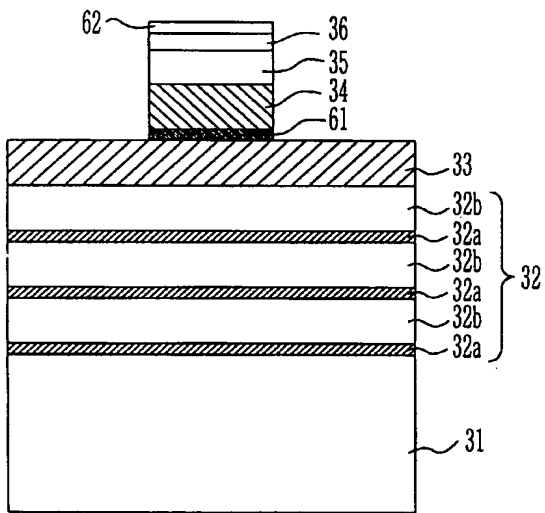
【도 7b】



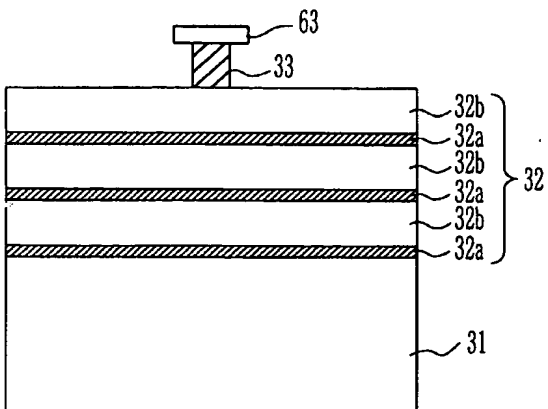
【도 8】



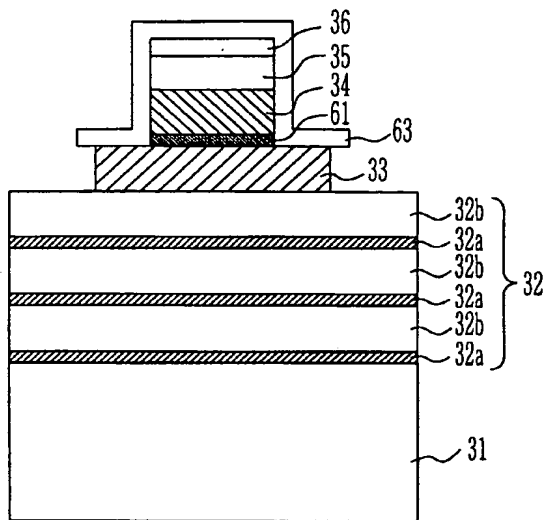
【도 9】



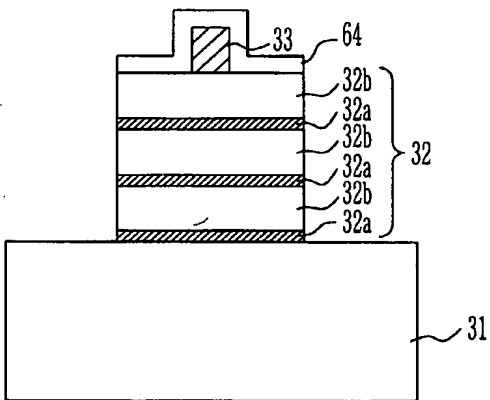
【도 10a】



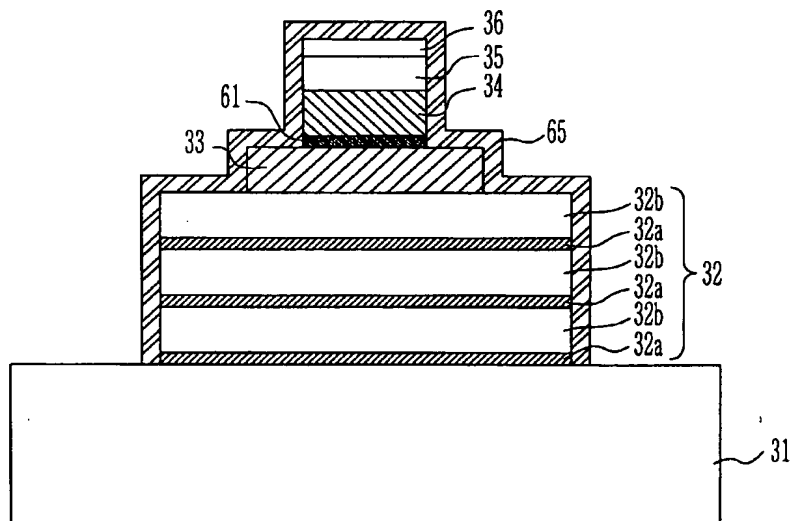
【도 10b】



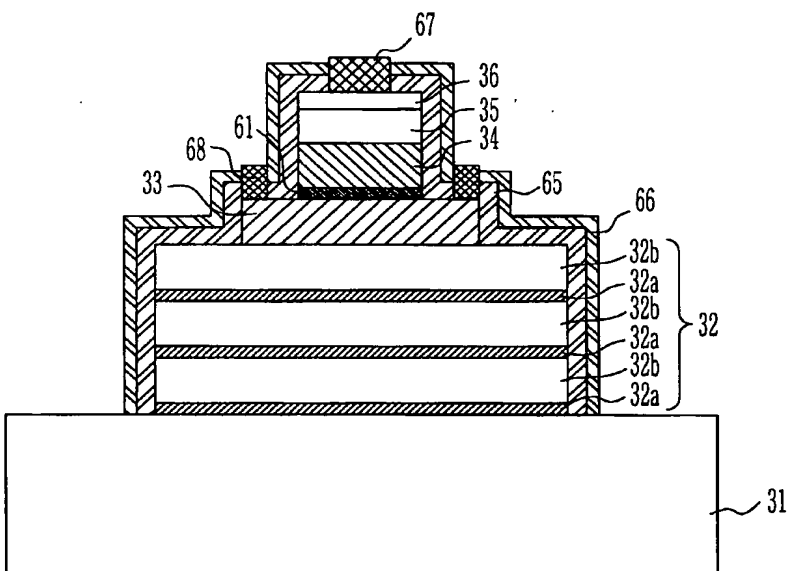
【도 11】



【도 12】



【도 13】



【도 14】

